단상 2.8kW급 LSPM 모터의 기동특성 해석

이정종, 유세현, 김영균, 정인성
전자부품연구원 지능메카트로닉스연구센터

Starting Characteristic Analysis of 2.8kW Single-phase LSPM Motor

Jeong-Jong Lee, Se-Hyun Rhyu, Young-Kyoun Kim, In-Soung Jung
Intelligent Mechatronics Research Center, Korea Electronics Technology Institute

Abstract - This paper deals with the method of starting characteristic analysis of a single-phase line-start permanent magnet (LSPM)motor. The starting characteristic such as current, torque and is important in LSPM because of demagnetizing of the permanent magnet. In this paper, the characteristic analysis is performed using finite element method.

1. 서 론

단상 유도전동기는 구조가 견고하고, 제작이 용이하며, 사용재료의 비용 우수성으로 가전 분야에서 많이 활용되었다. 또한 단상 유도전동기는 구동시 주파수 조정장치가 필요 없어 구동이 용이한 장점이 있다. 하지만 최근 가전기기의 효율 상승을 위하여 영구자석형 BLDC 모터의 수요가 점차 증가하고 있다[1]. 가변속 제어를 할 수 있는 BLDC 전동기는 Compressor에 적용 할 경우 회로적으로 용량을 가변하고 고효율의 전동기를 적용함으로써 효율이나 가변 특성면에서 가장 우수한 특성을 갖지만, 단점으로는 구동에 필요한 인버터 드라이버의 가격이 비싸고, 이를 설계하는 것이 기존 단상 유도기에 비하여 어려운 기술이기 때문에 상대적으로 기술력이 떨어지는 업체에서는 적용하기 어려운 단점이 있다. 영구자석을 사용한 단상 LSPM(Line-Start Permanent Magnet) Motor의 경우 기존 유도전동기와 구동 특성이 유사하고, 영구자석을 사용함으로써 유도전동기에서 발생하는 2차측 동손을 줄일 수 있으므로 BLDC와 같은 고효율 운전이 가능하다. 하지만 유도전동기에 비하여 기동시 과도한 이너셔, Capacitor의 위상 불균형 등으로 동기 속도로 급격하게 상승하지 못하면 탈조 현상을 나타내기 때문에 초기 기동토크가 중요한 의미를 가진다. 특히 유도전동기와 달리 기동시에 급격한 전류 상승으로 인하여 영구자석의 감자현상이 발생하기 쉽기 때문에 이를 극복한 설계가 요구된다[2-3].

본 논문에서는 FEM을 활용하여 단상 LSPM 모터의 기동시 감자특성을 검토를 위하여, Capacitor용량에 따른 기동 전류 해석을 수행한 후 기동전류에 따른 감자 특성 해석을 수행하였다. 대상 전동기는 220V급, 2.8kW 단상 LSPM 전동기로 2극 구조를 가진다.

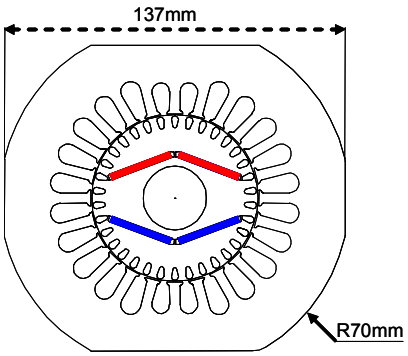
2. 본 론

2.1 해석 모델

해석대상인 단상 LSPM 모터의 사양은 표1과 같다. 전원은 상용전원 단상 220V, 60Hz를 사용하고 정격속도 3600rpm으로 2극으로 구성되었다. 모터 형상은 그림 1에 나타내었다. 2극 전동기에서 영구자석은 총 4개를 적용하여 N극, S극 각 2개씩 적용하였고, Reluctance torque를 확보하기 위하여 자석 형상을 배치하였다. 해석 모터의 설계상 특징으로는 토크 밀도를 증가하기 위하여 기존 유도기 도체바 형상에 비하여 도체바의 크기를 줄여, 영구자석의 단면적을 크게 하였다. 초기 기동시에는 기동토크 확보를 위한 최소한의 도체바가 되도록 설계에 반영하였다.

<표 1> 단상 LSPM 전동기 사양

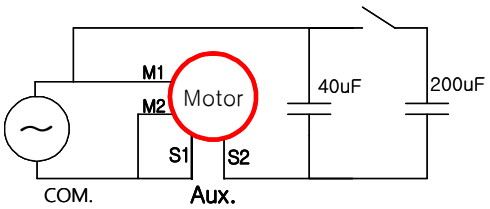
항목	Unit	Value	Note
전압	Vrms	220	
주파수	Hz	60	
극수		2	
정격속도	rpm	3600	@60Hz
정격출력	kW	2.8	
정격토크	Nm	7.7	
영구자석 Br	T	1.24	@20℃
적층 길이	mm	100	



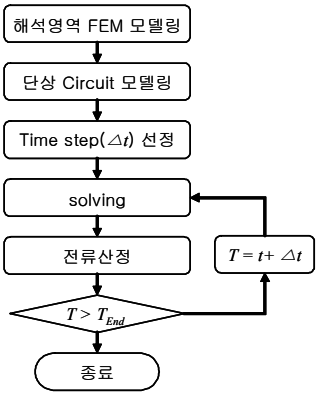
<그림 1> 단상 LSPM 전동기 단면

2.2 해석 방법

초기 기동 상태 해석시에는 모터가 정지되어 있을 때 최대 전류가 흐르므로 초기 상태에 회전자를 이동하지 않고 전압을 인가하여 기동 전류를 산정한다. FEM해석을 활용할 때 커패시터를 포함한 외부회로는 별도로 해석상에 연결하여야 한다. 그림 2는 LSPM 모터의 외부 구동회로를 나타낸다. 보조 Capacitor 용량은 초기 구동시에 200uF을 병렬로 연결하고 기동 후 40uF으로 운전하였다. 그림 3은 초기 전류 해석과정을 나타내었다. 유한요소 해석을 위한 요소분할 과정을 거쳐 해석모델을 만든 후 단상 구동회로를 모델링하여 해석과정에 포함한다. 이후 해석을 시행하여 전류를 산정하는 과정을 반복하여 전류가 수렴 할 때 까지 반복한다. 본 논문에서는 수렴과 관계없이 일정 시간동안 해석을 수행하였다.



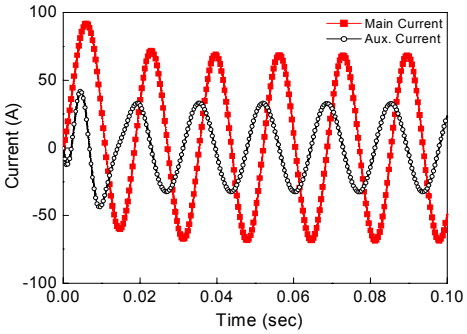
<그림 2> LSPM 모터 구동회로



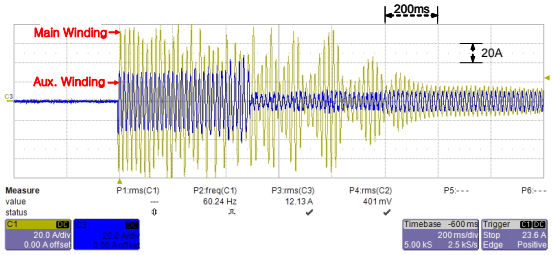
<그림 3> 초기 상승 전류 해석과정

2.3 초기 전류 해석 및 시험 결과

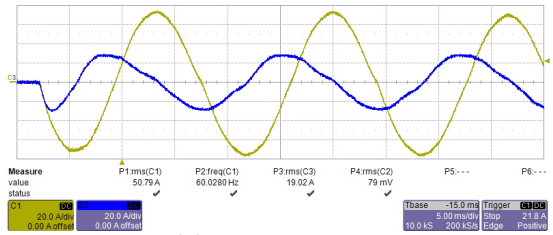
초기 기동후 60Hz 220V를 인가 할 때 해석 결과를 그림 4에 나타내었다. 기동시 주권선이 90A까지 상승하며 보조권선은 32A로 상승한다. 보조 Capacitor에 따른 위상차는 90° 근처로 정상적으로 나타남을 알 수 있다. 그림 5는 기동시 실험 전류를 나타낸다. 실험에서는 주권선 전류가 80A 까지 상승하고 기동 후에는 20A 근처로 저감하게 된다.



〈그림 4〉 기동 후 초기 전류 해석 결과



(a) 기동시 주권선 보조권선 전류

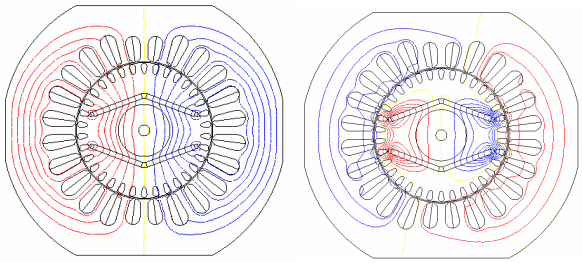


(b) 기동시 3주기 전류

〈그림 5〉 기동 후 초기 전류 실험 결과

2.4 자속밀도 해석 결과

초기 기동 특성에 따른 자석의 감자 상태를 알기 위하여 Transient 해석 을 수행하였다. 그림 6(a)는 정자계 해석으로 도체바를 고려하지 않았을 때 영구자석에 의한 등포텐셜 분포를 나타낸다. 이 경우 1차측에서 자속이 발생하더라도 대부분 2차측으로 전달되므로 해석상으로 감자가 일어날 수 있다. 그림 6(b)는 2차측 도체바가 고려된 등포텐셜 분포를 나타낸다. 1차측에 의한 자속이 2차측 도체바의 영향으로 1차측으로 이동하지 못하고 대부분 누설로 작용한다.

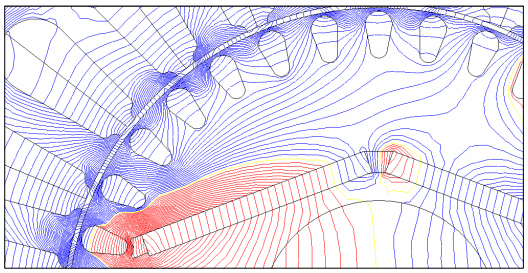


(a) 2차측 도체바 무시 (b) 2차측 도체바 고려

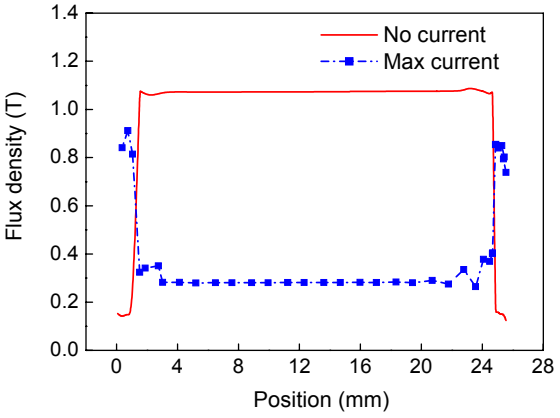
〈그림 6〉 초기 기동시 2차측 도체바에 의한 자속 분포

물론 그림 6(b)에서 초기 위치에 따라서 자속의 분포 영향은 크게 변경될 수 있다. 분명한 점은 2차측 도체바에 의하여 영구자석에 의한 자속량이 대부분 누설로 발생하는 구간이 발생하게 된다. 그림7은 영구자석 및 2차측 도체의 자속분포를 상세히 나타내었다. 1차측 및 도체바의 영향에 의하여 영구자석의 자속이 대부분 누설됨을 알 수 있다.

그림 8은 전류여자에 따른 영구자석의 자속분포를 나타낸다. 전류가 여자 되지 않았을 때. 1.1T의 크기를 가진다. 최대 전류가 흐를 때 자속밀도는 0.3T 이하로 줄어들게 된다.



〈그림 7〉 영구자석 및 2차측 도체의 자속분포



〈그림 8〉 전류여자에 따른 영구자석의 자속분포

3. 결 론

본 논문에서는 단상 2.8kW급 LSPM 전동기의 기동 특성 전류와 자속분포 해석에 관하여 나타내었다. 해석방법으로 FEM을 활용하여 초기 기동 전류 및 자속밀도 분포를 도출하여 영구자석의 자속분포를 확인할 수 있었다. 본 논문에서 사용한 단상 2.8kW급은 대용량 급으로 일반적으로 3상을 사용하는 범위에 해당된다. LSPM은 유도기동형 동기기라는 장점을 가지지만 국내에서 현재 적용된 산업은 극히 미약한 현실이다. 이의 원인은 영구자석 감자에 의한 성능저감, 운전시 진동 소음등의 원인을 들 수 있다. 이러한 단점이 있다하더라도 향후 안정된 영구자석의 수급이 가능하고, 초기 기동 성능이 개선되면 기존 유도기 시장의 팬, 펌프, 압축기 부하등 고효율이 요구되는 기기에 상용화가 가능 한 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

[1] Byeong-Hwa Lee, Hyuk Nam, Jeong-Jong Lee, Liang Fang, Jung-Pyo Hong, Seung-Hyung Ha, "Cost Reduction Design in Single-phase Line-start Permanent Magnet Motor", Trans. KIEE vol. 57, No. 12, pp. 2208~2212, Dec., 2008

[2] Gyu-Hong Kang, Jin Hur, Hyuk Nam, Jung-Pyo Hong,Gyu-Tak Kim, "Analysis of irreversible magnet demagnetization in line-start motors based on the finite-element method", IEEE Transactions on Magnetics, vol.39, no.3, pp. 1488-1491, May, 2003.

[3] T. J. E. Miller, "Single phase permanent magnet motor analysis," IEEE Transactions Industrial Applica. vol. IA-21, no. 4, pp. 651-658, 1985.